


SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

Patent number: JP8288544
Publication date: 1996-11-01
Inventor: NISHITANI KATSUHIKO; UNNO KAZUMI; ISHIKAWA MASAYUKI; SAEKI AKIRA; NAKAMURA TAKAFUMI; IWAMOTO MASANOBU
Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO
Classification:
- **International:** H01L33/00
- **European:**
Application number: JP19950089510 19950414
Priority number(s): JP19950089510 19950414

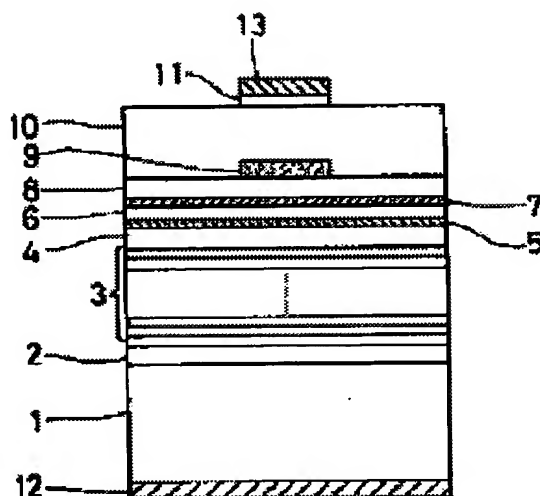
Also published as:

 US5732098 (A)

Abstract not available for JP8288544

Abstract of corresponding document: **US5732098**

A semiconductor light emitting device has a double heterostructure. The device is composed of an active layer and clad layers that sandwich the active layer. At least one of the clad layers has a multilayer structure having at least two element layers. The Al mole fraction of an element layer, which is proximal to the active layer, of the multilayer structure is smaller than that of the other element layer thereof distal from the active layer. This arrangement improves the crystal quality of an interface between the active layer and the clad layer of multilayer structure and effectively confines carriers in the active layer.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-288544

(43) 公開日 平成8年(1996)11月1日

(51) Int.Cl.⁶

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 33/00

技術表示箇所

A

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平7-89510

(22) 出願日 平成7年(1995)4月14日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 西谷 克彦

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会

社東芝堀川町工場内

(72) 発明者 海野 和美

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会

社東芝堀川町工場内

(72) 発明者 石川 正行

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 株式会

社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 三好 秀和 (外3名)

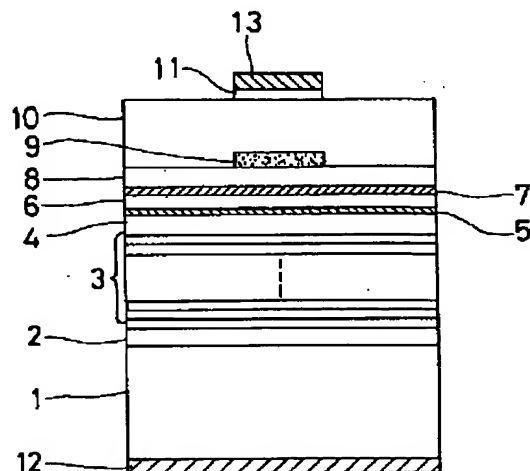
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【目的】 この発明は、高輝度でかつ長寿命の半導体発光素子を提供することを目的とする。

【構成】 この発明は、半導体基板1に形成された活性層6を挟んでダブルヘテロ接合を形成する両クラッド層4、5、7、8は2層化されたInGaAlP混晶からなり、活性層6のアルミニウム混晶比uと活性層6と接する第1のクラッド層5、7のアルミニウム混晶比yと第1のクラッド層5、7と積層する第2のクラッド層4、8のアルミニウム混晶比xとは、 $u : y : x = 3 : 6, 7$ 又は $8 : 10$ に設定されて構成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に形成された、単層あるいは多層からなる第1のクラッド層と、

前記第1のクラッド層表面に形成された第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層表面に形成された活性層と、

前記活性層表面に形成された第3のクラッド層と、

前記第3のクラッド層表面に形成された、単層あるいは多層からなる第4のクラッド層とを具備し、

前記第2のクラッド層のアルミニウム混晶比は、前記活性層のアルミニウム混晶比よりも大きく、前記第1のクラッド層のアルミニウム混晶比よりも小さく、かつ前記第3のクラッド層のアルミニウム混晶比は、前記活性層のアルミニウム混晶比よりも大きく、前記第4のクラッド層のアルミニウム混晶比よりも小さいことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 前記第1のクラッド層、第2のクラッド層の層厚合計、及び前記第3のクラッド層、第4のクラッド層の層厚合計は、0.6 μm 程度であることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項3】 前記第1のクラッド層は $n\text{-In}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$ 、 $\text{Al}_{0.5}$ 、Pであり、前記第2のクラッド層は $n\text{-In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.7}$ 、 $\text{Al}_{0.7}$ 、Pであり、前記第3のクラッド層は $p\text{-In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.7}$ 、 $\text{Al}_{0.7}$ 、Pであり、前記第4のクラッド層は $p\text{-In}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$ 、Pであることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項4】 前記第1のクラッド層は $n\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}$ 、Nであり、前記第2のクラッド層は $n\text{-Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}$ 、Nであり、前記第3のクラッド層は $p\text{-Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}$ 、Nであり、前記第4のクラッド層は $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}$ 、Nであることを特徴とする請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項5】 半導体基板上に形成された、単層あるいは多層からなる第1のクラッド層と、

前記第1のクラッド層表面に形成された活性層と、

前記活性層表面に形成された第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層表面に形成された、単層あるいは多層からなる第3のクラッド層とを具備し、

前記第1のクラッド層のアルミニウム混晶比は、前記活性層のアルミニウム混晶比よりも大きく、かつ前記第2のクラッド層のアルミニウム混晶比は、前記活性層のアルミニウム混晶比よりも大きく、前記第3のクラッド層のアルミニウム混晶比よりも小さいことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項6】 前記第1のクラッド層は $n\text{-In}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$ 、 $\text{Al}_{0.5}$ 、Pであり、前記第2のクラッド層は $n\text{-In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.7}$ 、 $\text{Al}_{0.7}$ 、Pであり、前記第3のクラッド層は $p\text{-In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.7}$ 、 $\text{Al}_{0.7}$ 、Pであることを特徴とする請求項5記載の半導体発光素子。

【請求項7】 前記第1のクラッド層は $n\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}$ 、N

$\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}$ 、Nであり、前記第2のクラッド層は $n\text{-Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}$ 、Nであり、前記第3のクラッド層は $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}$ 、Nであることを特徴とする請求項5記載の半導体発光素子。

【請求項8】 半導体基板上に形成された、単層あるいは多層からなる第1のクラッド層と、

前記第1のクラッド層表面に形成された第2のクラッド層と、

前記第2のクラッド層表面に形成された活性層と、

10 前記活性層表面に形成された第3のクラッド層とを具備し、

前記第2のクラッド層のアルミニウム混晶比は、前記活性層のアルミニウム混晶比よりも大きく、前記第1のクラッド層のアルミニウム混晶比よりも小さく、かつ前記第3のクラッド層のアルミニウム混晶比は、前記活性層のアルミニウム混晶比よりも大きいことを特徴とする半導体発光素子。

【請求項9】 前記第1のクラッド層は $n\text{-In}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$ 、 $\text{Al}_{0.5}$ 、Pであり、前記第2のクラッド層は $n\text{-In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.7}$ 、 $\text{Al}_{0.7}$ 、Pであり、前記第3のクラッド層は $p\text{-In}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$ 、Pであることを特徴とする請求項8記載の半導体発光素子。

【請求項10】 前記第1のクラッド層は $n\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}$ 、Nであり、前記第2のクラッド層は $n\text{-Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}$ 、Nであり、前記第3のクラッド層は $p\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}$ 、Nであることを特徴とする請求項8記載の半導体発光素子。

【請求項11】 半導体基板上に形成された、単層あるいは多層からなる第1のクラッド層と、

30 前記第1のクラッド層表面に形成された InGaAlP 混晶からなる第1の中間層と、

前記第1の中間層表面に形成された活性層と、

前記活性層表面に形成された InGaAlP 混晶からなる第2の中間層と、

前記第2の中間層表面に形成された、単層あるいは多層からなる第2のクラッド層とを具備し、

40 前記活性層のアルミニウム混晶比Xと前記第1、第2の中間層のアルミニウム混晶比Yは、 $X+0.1 \leq Y \leq X+0.5$ に設定され、かつ前記第1、第2の中間層の厚さは0.01 μm ~0.1 μm であることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項12】 前記中間層は、単層又は多層化されることを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子。

【請求項13】 前記活性層のアルミニウム混晶比Xは、 $X=0$ を含んでなることを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子。

【請求項14】 前記クラッド層のアルミニウム混晶比Zは、 $Z=1$ を含んでなることを特徴とする請求項11記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、高出力の半導体発光素子に関するものであり、特に屋内外表示板、鉄道・交通信号、車載用灯具等の屋外で表示用光源として使用される半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】この種の半導体発光素子の製造に用いられる結晶法としては、従来より使用されている液相成長法（LPE法）、又は最近使用され始めた有機金属化学気相成長法（MOCVD法）などがある。いずれの方法においても高輝度の発光素子を製造するためには、発光層となる活性層にキャリアを閉じ込めるダブルヘテロ構造が採用されている。

【0003】図9にInGaAlP系材料による上記構造を採用した従来の半導体発光素子の断面構造を示す。

【0004】図9において、この発光素子では結晶成長方法として、III族材料にトリメチルインジウム（TM_I）、トリメチルガリウム（TM_G）、及びトリメチルアルミニウム（TMA）、V族材料にアルシンガス（AsH₃）及びフォスフィンガス（PH₃）、ドーピング材料にシランガス（SiH₄）及びジメチルジシラン（DMZ）を使用し、成長炉内を一定減圧し、キャリアガスとして水素ガスを用いて結晶成長させる有機金属化学気相成長法（MOCVD法）を用いる。

【0005】具体的には、成長炉内にn-（n型の）GaAs基板101を設置し、一定の減圧及び温度に保持し、III族、V族及びドーピング材料を各成長層に対して設定された流量で流し込み、n-GaAsバッファ層102、n-In_{0.5}Al_{0.5}P/GaAs光反射層103、n-In_{0.5}（Ga_{1-x}Al_x）_{0.5}Pクラッド層104、アンドープ-In_{0.5}（Ga_{1-y}Al_y）_{0.5}P活性層105、p-（p型の）In_{0.5}（Ga_{1-x}Al_x）_{0.5}Pクラッド層106、n-GaAsブロック層107を順次積層させる（x≤1, x>y）。

【0006】次に、この結晶成長されたウェーハを取り出し、写真食刻法を用いてn-GaAsブロック層107を選択エッチングする。さらに、上記と同様なMOCVD法によりp-Ga_{0.5}Al_{0.5}As電流拡散層108、p-GaAsコンタクト層109を順次積層させる。

【0007】その後、このようにして形成された結晶成長層のウェーハを真空蒸着法によりウェーハの両面にAu材料を積層させ、写真食刻法によりp-GaAsコンタクト層109側にp側電極110を、n-GaAs基板101側にn側電極111をそれぞれ形成する。そして、ダイシングで個々のチップに分割して図9に示す半導体発光素子が得られる。

【0008】このようにして製造される半導体発光素子において、活性層105のAl混晶比yを0.3とし、

n型およびp型のクラッド層104、106のAl混晶比xを1.0、0.9、0.8、0.7として形成したチップをステムヘマウントしてボンディングし、樹脂封止してφ5ランプを作成し、初期輝度（I₀）と50mA通電状態において1000時間経過後の輝度（I）との残存率（I/I₀×100）を調べ、クラッド層104、106のAl混晶比x、初期輝度I₀、及び残存率の関係を図10に示す。

【0009】図10において、Al混晶比xを増加させると初期輝度は高くなるものの、残存率が低下し、一方、Al混晶比xを減少させると初期輝度は低くなるものの残存率が向上しており、初期輝度と残存率がトレードオフの関係にあることがわかる。これらのことから、高輝度かつ長寿命の信頼性を有する発光素子としてはまだ不十分であった。

【0010】InGaAlP材料を用いてダブルヘテロ構造を形成した他の半導体発光素子としては、例えば黄色発光素子では図11に示す構造のものが知られている。

【0011】図11において、この半導体発光素子は、n-GaAs基板121上にn-GaAsバッファ層122、n-In_{0.5}Al_{0.5}P/GaAs多層膜光反射層123、n-In_{0.5}Al_{0.5}Pクラッド層124、黄色発光に必要なAl混晶比のn-In_{0.5}（Ga_{0.72}Al_{0.28}）_{0.5}P活性層125、p-In_{0.5}Al_{0.5}Pクラッド層126、p-In_{0.5}Ga_{0.5}Pコンタクト層127、p-GaAsクラッド保護層128、所望の部分にn-In_{0.5}（Ga_{0.5}Al_{0.5}）_{0.5}P電流ブロック層129及びn-GaAsブロック保護層130、p-Ga_{0.5}Al_{0.5}As電流拡散層131、p-In_{0.5}（Ga_{0.7}Al_{0.3}）_{0.5}P拡散層132、p-GaAsコンタクト層133を順次積層形成した構造を有している。

【0012】このような構造において、発光層となるIn_{0.5}（Ga_{1-x}Al_x）_{0.5}P活性層125を挟むクラッド層の組成を設計する場合に、以下に示す互いに相反する作用について吟味しなければならない。すなわち、

（1）少数キャリアや光の閉じ込めを十分大きくするためには、活性層のバンドギャップE_gよりも十分に大きなE_gを有する材料、すなわちAl組成xの大きな材料でクラッド層を形成する必要がある。

【0013】（2）発光層となる活性層とクラッド層の界面では欠陥の少ないことが要求されるが、Al組成の大きく異なる活性層とクラッド層界面には少数キャリアをトラップする欠陥が多く導入されることがある。

【0014】これらのことから、図11に示す発光素子の発光層となるIn_{0.5}（Ga_{1-x}Al_x）_{0.5}P活性層125に対して、Al混晶比が大きく異なるIn_{0.5}Al_{0.5}Pのクラッド層を直接隣接させた構造をさ採用

した場合には、上述したように両層の界面に結晶欠陥が生じ、図12に示すように正規化光出力(P/P_0)と通電時間との関係を表す図12に示すように、通電寿命特性が著しく劣っていた。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、発光層となる活性層を挟んでクラッド層が形成されてなるダブルヘテロ構造を採用した従来の半導体発光素子においては、屋外で使用可能な程度の輝度を得るために活性層とクラッド層のA1混晶比が大きく異なっていたので、通電寿命が短くなっていた。

【0016】一方、通電寿命をある程度確保しようすると、光出力が犠牲となり、屋外の使用が可能となる輝度を得ることが困難になっていた。

【0017】したがって、ダブルヘテロ構造を有する従来の半導体発光素子においては、輝度ならびに通電寿命をともに満足させることができなかった。

【0018】そこで、この発明は、上記に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、高輝度でかつ長寿命の半導体発光素子を提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、請求項1記載の発明は、半導体基板上に形成された、単層あるいは多層からなる第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層表面に形成された第2のクラッド層と、前記第2のクラッド層表面に形成された活性層と、前記活性層表面に形成された第3のクラッド層と、前記第3のクラッド層表面に形成された、単層あるいは多層からなる第4のクラッド層とを具備し、前記第2のクラッド層のアルミニウム混晶比は、前記活性層のアルミニウム混晶比よりも大きく、前記第1のクラッド層のアルミニウム混晶比よりも小さく、かつ前記第3のクラッド層のアルミニウム混晶比は、前記活性層のアルミニウム混晶比よりも大きく、前記第4のクラッド層のアルミニウム混晶比よりも小さいことを特徴とする。

【0020】請求項5記載の発明は、半導体基板上に形成された、単層あるいは多層からなる第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層表面に形成された活性層と、前記活性層表面に形成された第2のクラッド層と、前記第2のクラッド層表面に形成された、単層あるいは多層からなる第3のクラッド層とを具備し、前記第1のクラッド層のアルミニウム混晶比は、前記活性層のアルミニウム混晶比よりも大きく、かつ前記第2のクラッド層のアルミニウム混晶比は、前記活性層のアルミニウム混晶比よりも大きく、前記第3のクラッド層のアルミニウム混晶比よりも小さいことを特徴とする。

【0021】請求項8記載の発明は、半導体基板上に形成された、単層あるいは多層からなる第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層表面に形成された第2のクラッド層と、前記第2のクラッド層表面に形成された活性

層と、前記活性層表面に形成された第3のクラッド層とを具備し、前記第2のクラッド層のアルミニウム混晶比は、前記活性層のアルミニウム混晶比よりも大きく、前記第1のクラッド層のアルミニウム混晶比よりも小さく、かつ前記第3のクラッド層のアルミニウム混晶比は、前記活性層のアルミニウム混晶比よりも大きいことを特徴とする。

【0022】請求項11記載の発明は、半導体基板上に形成された、単層あるいは多層からなる第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層表面に形成されたInGaAlP混晶からなる第1の中間層と、前記第1の中間層表面に形成された活性層と、前記活性層表面に形成されたInGaAlP混晶からなる第2の中間層と、前記第2の中間層表面に形成された、単層あるいは多層からなる第2のクラッド層とを具備し、前記活性層のアルミニウム混晶比Xと前記第1、第2の中間層のアルミニウム混晶比Yは、 $X+0.1 \leq Y \leq +0.5$ に設定され、かつ前記第1、第2の中間層の厚さは $0.01 \mu m \sim 0.1 \mu m$ であることを特徴とする。

【0023】

【作用】上記構成において、請求項1、5又は8記載の発明は、発光層である活性層を挟むクラッド層を多層化し、活性層に近い層のA1混晶比を低くして活性層界面での結晶性を向上させ、活性層に遠い層のA1混晶比を高くし、キャリア閉じ込め効果を十分に発揮させるようにしている。

【0024】請求項11記載の発明は、発光層となる活性層に対してA1混晶比が大きく異なるp型、n型の両クラッド層を直接、隣接されるのではなく、活性層とp型及びn型クラッド層間に中間層を設けるようにしている。

【0025】

【実施例】以下、図面を用いてこの発明を説明する。

【0026】図1は請求項1、2又は3記載の発明の一実施例に係る半導体発光素子の構造を示す図である。

【0027】図1において、この実施例の発光素子は、n-GaAs基板1上にn-GaAsバッファ層2、n-InAlP/GaAs光反射層3、n-InGaAlP第2クラッド層4、n-InGaAlP第1クラッド層5、アンドープ-InGaAlP活性層6、p-InGaAlP第1クラッド層7、p-InGaAlP第2クラッド層8、n-GaAsブロック層9、p-GaAlAs電流拡散層10、及びp-GaAsコンタクト層11を順次積層させた構造である。n-InAlP/GaAs光反射層3は、活性層で発光する光の波長の $1/4n$ (n は材料の屈折率)の厚さのn-InAlP層とn-GaAs層を交互に積層させた多層構造である。

【0028】また、n-InGaAlP第1、第2クラッド層5、4、p-InGaAlP第1、第2クラッド層7、8及びp-GaAlAs電流拡散層10はアンド

ープ-InGaAlP活性層6で発光した光が十分に透過されるようなAlの混晶比になっている。さらに、n-GaAs基板1側にn側電極12が形成され、p-GaAsコンタクト層11側にp側電極13が形成されている。このような構造において、この実施例の特徴はクラッド層を2層化し、クラッド層のバンドギャップを活性層から離れるにしたがって段階的に大きくするようにしている。

【0029】次に、上記構造の半導体発光素子の製造方法を説明する。

【0030】それぞれの半導体結晶層の成長には、III族材料としてトリメチルインジウム(TMI)、トリメチルガリウム(TMg)、及びトリメチルアルミニウム(TMA)を用い、V族材料としてアルシingas(AsH₃)、フォスフィンガス(PH₃)を用い、ドーピング材料にシランガス(SiH₄)、ジメチルジシラン(DMZ)を用いて、反応炉に水素キャリアガスを流し一定減圧で一定温度に保持した後、水素をキャリアガスとして上記III族、V族及びドーピング材料を所定の割合で反応炉へ流入させ、化学的に反応させることにより基板1上に結晶層を堆積させる有機金属化学気相成長法(MOCVD法)を用いる。

【0031】具体的には、反応炉を30~100 Torrの減圧状態で多量の水素を流し、サセプター上に面方位を(100)から[011]方向へ数度ずらしたn-GaAs基板1を設置し、アルシingas雰囲気中で600~800℃に昇温して一定温度に保つ。その後、各成長層の条件に応じてIII族、V族、及びドーピング材料を所定の割合で反応炉へ流入させる。

【0032】このような金属化学気相成長法によって、n-GaAs基板1上に、0.5μm程度の厚さのn-GaAsバッファ層2(キャリア濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)と、n-I_{0.7}Al_{0.3}P/GaAs光反射層3(キャリア濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)と、0.59μm程度の厚さのn-I_{0.7}(Ga_{1-x}Al_x)_{0.3}P第2クラッド層4(キャリア濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, x=1.0)と、0.01μm程度の厚さのn-I_{0.7}(Ga_{1-y}Al_y)_{0.3}P第1クラッド層5(キャリア濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, y=0.7)と、0.6μm程度の厚さのアンダーブI_{0.7}(Ga_{0.7}Al_{0.3})_{0.3}P活性層6と、0.01μm程度の厚さのp-I_{0.7}(Ga_{1-z}Al_z)_{0.3}P第1クラッド層7(キャリア濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, z=0.7)と、0.59μm程度の厚さのp-I_{0.7}(Ga_{1-w}Al_w)_{0.3}P第2クラッド層8(キャリア濃度 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, w=1.0)と、0.02μm程度の厚さのn-GaAsブロック層9(キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)とを順次成長させる。

【0033】その後、反応炉よりこのエビタキシャルウェーハを取り出し、写真食刻法によりn-GaAsプロ

ック層9を所定のパターンに形成する。

【0034】次に、このエビタキシャルウェーハを再度、反応炉へ設置し、MOCVD法により4.5μm程度の厚さのp-Ga_{0.7}Al_{0.3}As電流拡散層10(キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)と、0.1μm程度の厚さのp-GaAsコンタクト層11(キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)とを順次成長させる。

【0035】このようにして得られたエビタキシャルウェーハの両面に真空蒸着によりAu材料を蒸着させ、写真食刻法によりp-GaAsコンタクト層11側にp側電極13を、n-GaAs基板1側にn側電極12をそれぞれ形成する。さらに、p側電極13下のp-GaAsコンタクト層のみを残し、それ以外のp-GaAsコンタクト層は上記同様の写真食刻法を用いて選択的に除去する。最後に、ダイシングで個々のチップに分割して図1に示す構造の発光素子が得られる。

【0036】上記実施例で得られた発光素子をステムマウント、ボンディング、樹脂封止してφ5mmランプを作成し、初期輝度と50mA通電状態における1000時間経過後の輝度の残存率を調べたところ、初期輝度は図10に示す従来の最高輝度レベル(相対値で750)が得られ、また残存率は85%となり良好であった。

【0037】したがって、上記構造にあっては、発光層となる活性層6を挟むクラッド層を多層化し、活性層6に近い第1のクラッド層のAl混晶比を低くして活性層界面での結晶性を向上させて信頼性を高め、更に、活性層6に遠いクラッド層のAl混晶比を高くしてキャリア閉じ込め効果を十分に発揮させるようにしているので、従来と同等の高輝度で、かつ従来よりも輝度残存率が向上した、すなわち寿命の長い発光素子を得ることができる。

【0038】請求項1、2又は3記載の発明の第2の実施例は、上記構造において、n-I_{0.7}(Ga_{0.7}Al_{0.3})_{0.3}P第1クラッド層5及びp-I_{0.7}(Ga_{0.7}Al_{0.3})_{0.3}P第1クラッド層7の厚さをそれぞれ0.05μm程度とし、n-I_{0.7}Al_{0.3}P第2クラッド層4及びp-I_{0.7}Al_{0.3}P第2クラッド層8の厚さそれぞれ0.55μm程度とし、他は上記実施例と同様な構造である。

【0039】このような構造のφ5mmランプでは、初期輝度及び輝度残存率は各々相対値710、90%と良好であり、上記実施例と同様の効果を得ることができる。

【0040】また、請求項1記載の発明の第3の実施例として、上記実施例においてAl混晶比を変えても同様の効果が得られる。例えば、上記第2の実施例において、p、nの第1クラッド層のAl混晶比y、zを0.7から0.6又は0.8に変えた場合は、初期輝度/残存率は、0.6:725/100%、0.8:720/

95%となり、従来と同等の最高輝度レベルで輝度残存率を向上させることができ、上記実施例と同様な効果を得ることができる。

【0041】図2は請求項5記載の発明の第4の実施例に係る半導体発光素子の構造を示す図である。

【0042】上記それぞれの実施例では、活性層の両側のクラッド層を第1、第2として2層化しているが、この実施例の特徴とするところは、一方のクラッド層のみを多層化したことにあり、この構造でも上記実施例と同様の効果を得ることができる。

【0043】例えば、上記図1に示す第1の実施例において、p側のクラッド層(0.6μm程度の厚さのp-In_{0.5}Al_{0.5}、Pクラッド層)を1層のクラッド層14とし、n側のクラッド層は図1に示すと同様に、0.01μm程度の厚さのn-In_{0.5}(Ga_{0.5}Al_{0.5})_{0.5}、P第1クラッド層5と、0.59μm程度の厚さのn-In_{0.5}Al_{0.5}、P第2クラッド層4としてもよい。

【0044】一方、図3に示すように、図1に示す構造に対して、n側のクラッド層15を一層とし、p側のクラッド層を図1に示すと同様に2層としてもよい。

【0045】このように、上記実施例では、活性層を挟むクラッド層を多層化し、そのクラッド層のAl混晶比、厚さ及び層数を最適化することにより、高輝度かつ長寿命長の信頼性の高い半導体発光素子を提供できる。

【0046】図4は請求項4記載の発明の一実施例に係る半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【0047】図4において、この実施例の発光素子は、サファイア基板21上にGa_{0.5}Nバッファ層22、n-Ga_{0.5}N層23、n-Al_{0.5}Ga_{0.5}N第2クラッド層24、n-Al_{0.5}Ga_{0.5}N第1クラッド層25、InGa_{0.5}N活性層26、p-Al_{0.5}Ga_{0.5}N第1クラッド層27、p-Al_{0.5}Ga_{0.5}N第2クラッド層28、p-Ga_{0.5}N層29を順次積層形成し、その後p-Ga_{0.5}N層29の一部をn-Ga_{0.5}N層23が露出するまでウェットエッチングにより選択的に除去し、p-Ga_{0.5}N層29上にp側電極30を形成し、露出されたn-Ga_{0.5}N層23上にn側電極31を形成して構成されたものである。

【0048】この実施例においても、上記実施例と同様の効果を得ることができる。

【0049】なお、この実施例では、活性層26を挟む両側のクラッド層を2層化しているが、いずれか一方のクラッド層だけを2層化しても、同様の効果を得ることができる。

【0050】なお、上述したすべての実施例では、クラッド層を2層化にしているが、2層以上にしても同様の効果が得られる。また、発光色はInGaAlP系LEDの緑色～赤色の可視光領域、Ga_{0.5}N系LEDの青色の可視光領域ならびにGa_{0.5}As系LEDの赤外領域まで適

用可能である。

【0051】さらに、他の材料すなわち、InGa_{0.5}N、InGa_{0.5}AsP等のIII-V族混晶やZnSeTe、MgSeTe、ZnSSe、MgSSe等のII-VI族混晶をクラッド層に用いることも可能である。

【0052】図5は請求項11～14記載の発明の一実施例に係る半導体発光素子の構造を示す図である。

【0053】この発明の特徴とするところは、発光層となるIn_{0.5}(Ga_{1-x}Al_x)_{0.5}、P活性層に対してAl混晶比が大きく異なるp型、n型のIn_{0.5}(Ga_{1-x}Al_x)_{0.5}、P両クラッド層を直接、隣接されるのではなく、活性層とp型及びn型クラッド層間に、In_{0.5}(Ga_{1-y}Al_y)_{0.5}、P中のAl混晶比Yが(X+0.1≤Y≤X+0.5)の範囲で、厚さが0.01μm～0.1μmの中間層を設けたことにある。

【0054】なお、活性層のアルミニウム混晶比Xは、X=0を含み、クラッド層のアルミニウム混晶比Zは、Z=1を含むものとする。

【0055】図5において、この実施例の発光素子は、n-Ga_{0.5}As基板上41にn-Ga_{0.5}Asバッファ層42、n-In_{0.5}Al_{0.5}、Pとn-Ga_{0.5}Asを交互に10対積層してなる多層膜光反射層43、n-In_{0.5}Al_{0.5}、Pクラッド層44、n-In_{0.5}(Ga_{0.4}Al_{0.6})_{0.5}、P層(中間層)45、アンドープn型In_{0.5}(Ga_{0.72}Al_{0.28})_{0.5}、P活性層46、p-In_{0.5}(Ga_{0.4}Al_{0.6})_{0.5}、P層47(中間層)、p-In_{0.5}Al_{0.5}、Pクラッド層48、p-In_{0.5}Ga_{0.5}、Pコンタクト層49、p-Ga_{0.5}Asのクラッド保護層50、n-In_{0.5}(Ga_{0.5}Al_{0.5})、P電流ブロック層51、n-Ga_{0.5}Asブロック保護層52、p-Ga_{0.5}Al_{0.5}Al電流拡散層54、p-In_{0.5}(Ga_{0.7}Al_{0.3})_{0.5}、P耐湿性層55、p-Ga_{0.5}Asコンタクト層56が積層形成され、p-Ga_{0.5}Asコンタクト層56上にAu-Znからなるp側電極58が形成され、n-Ga_{0.5}As基板41側にAu-Geからなるn側電極59が形成されて構成されている。

【0056】次に、上記構造を得るための一製造方法を図6に示す工程断面図を参照して説明する。

【0057】例えば黄色発光素子の場合には、まず、n-Ga_{0.5}As基板上41に厚さ0.5μm程度のSiドープn-Ga_{0.5}Asバッファ層(キャリア濃度N=2.0～5.0×10¹⁷cm⁻³)42、厚さがそれぞれ400Å程度のSiドープn-In_{0.5}Al_{0.5}、P(N=0.4～2.0×10¹⁸cm⁻³)とSiドープn-Ga_{0.5}As(N=0.4～2.0×10¹⁸cm⁻³)を交互に10対積層した多層膜光反射層43、厚さ0.6μm程度のSiドープn-In_{0.5}Al_{0.5}、Pクラッド層(N=2.0～6.0×10¹⁷)44、この発明の特徴となる厚さ0.05μm程度のSiドープn-In_{0.5}(Ga_{0.4}Al_{0.6})_{0.5}、P層(中間層)45、厚さ0.6μm程

度のアンドープ n - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.72}\text{Al}_{0.28}$) $_{0.5}$, P活性層 ($N \sim 1.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) 46、この発明の特徴となる厚さ $0.05 \mu\text{m}$ 程度の Zn ドープ p - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.4}\text{Al}_{0.6}$) $_{0.5}$, P層 (中間層) 47、厚さ $0.6 \mu\text{m}$ 程度の Zn ドープ p - $\text{In}_{0.5}$, $\text{Al}_{0.5}$, Pクラッド層 ($N = 2.0 \sim 6.1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) 48、厚さ $0.02 \mu\text{m}$ 程度の Zn ドープ p - $\text{In}_{0.5}$, $\text{Ga}_{0.5}$, Pコンタクト層 ($N = 0.5 \sim 1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 49、厚さ $0.01 \mu\text{m}$ 程度の Zn ドープ p - GaAs のクラッド保護層 ($N = 1.0 \sim 6.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 50、厚さ $0.02 \mu\text{m}$ 程度の Si ドープ n - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$) P電流ブロック層 ($N = 0.5 \sim 1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 51、厚さ $0.01 \mu\text{m}$ 程度の Si ドープ n - GaAs ブロック保護層 ($N = 1.0 \sim 6.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 52、厚さ $0.02 \mu\text{m}$ 程度の Si ドープ n - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$) $_{0.5}$, Pキャップ層 ($N = 1.0 \sim 6.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 53をMOCVD法により順次積層形成する (図6 (a))。

【0058】次に、 n - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$) $_{0.5}$, Pキャップ層53、 n - GaAs ブロック保護層52を所望の形状にウェットエッチングする (図6 (b))。

【0059】次に、 n - GaAs ブロック保護層52上に残存している n - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$) $_{0.5}$, Pキャップ層53及び図6 (b) に示す工程で表面に露出した n - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$) $_{0.5}$, P電流ブロック層51をウェットエッチングにより所望の形状に形成する (図6 (c))。

【0060】次に、図6 (c) に示す工程後に得られたウェハ上に、厚さ $4.5 \mu\text{m}$ 程度の Zn ドープ p - $\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$, Al 電流拡散層 ($N = 1.0 \sim 6.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 54、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ 程度の Zn ドープ p - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3}$) $_{0.5}$, P耐湿性層 ($N = 0.5 \sim 2.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 55、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ 程度の Zn ドープ p - GaAs コンタクト層 ($N = 1.0 \sim 6.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 56、厚さ $0.15 \mu\text{m}$ 程度の Si ドープ n - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$) $_{0.5}$, Pキャップ層 ($N = 1.0 \sim 6.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 57をMOVCD法により順次積層形成する。 (図6 (d))。

【0061】次に、 n - GaAs 基板41表面を $5 \mu\text{m}$ ウェットエッチングにより除去した後、 n - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$) $_{0.5}$, Pキャップ層57を全てウェットエッチングにより除去し、 n - GaAs 基板41の表面全面に Au-Ge の n 電極59を形成する。続いて、 p - GaAs コンタクト層56の表面に電流ブロック層51の直上となる部分に直径が $140 \mu\text{m}$ 程度の Au-Zn からなる p 電極58を形成する。引き続いて、素子表面に露出している p - GaAs コンタクト層56

をウェットエッチングにより除去した後、ブレードダイシングにより一辺が $320 \mu\text{m}$ 程度の大きさに素子を分離し、さらにブレードダイシングにより素子側面に発生した破砕層をウェットエッチングにより除去し、この実施例の構造が得られる (図6 (e))。

【0062】このようにして得られる発光素子においては、発光層となる $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x$) $_{0.5}$, P活性層46に対し Al 混晶比が大きく異なる p 型、 n 型の $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x$) $_{0.5}$, P両クラッド層48、44を直接、隣接されるのではなく、活性層46と p 型及び n 型クラッド層48、44間に、活性層46の Al 混晶比 X に対するクラッド層 $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{1-y}\text{Al}_y$) $_{0.5}$, P中の Al 混晶比 Y が、($X + 0.1 \leq Y \leq X + 0.5$)の範囲で、かつ厚さが $0.01 \mu\text{m} \sim 0.1 \mu\text{m}$ の中間層を設ける構造を採用したので、活性層46と隣接層界面の結晶性を向上させ、図7に示すように従来と同等の高輝度を維持したまま、図8に示すように図12に示す従来に比べて発光寿命特性を向上させることができる。

【0063】また、上述した工程、手法を同様にして、この発明の特徴となる図5に示す中間層45、47が以下に示す組成ならびに厚さの組み合わせの実施例であって、上述した効果を得ることができる。

【0064】(1) 厚さ $0.05 \mu\text{m}$ 程度の Si ドープ n - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$) $_{0.5}$, P層と厚さ $0.05 \mu\text{m}$ 程度の Zn ドープ p - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$) $_{0.5}$, P層

(2) 厚さ $0.01 \mu\text{m}$ 程度の Si ドープ n - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.4}\text{Al}_{0.6}$) $_{0.5}$, P層と厚さ $0.01 \mu\text{m}$ 程度の Zn ドープ p - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.4}\text{Al}_{0.6}$) $_{0.5}$, P層

(3) 厚さ $0.10 \mu\text{m}$ 程度の Si ドープ n - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$) $_{0.5}$, P層と厚さ $0.10 \mu\text{m}$ 程度の Zn ドープ p - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.5}\text{Al}_{0.5}$) $_{0.5}$, P層

(4) 厚さ $0.05 \mu\text{m}$ 程度の Si ドープ n - $\text{In}_{0.5}$, ($\text{Ga}_{0.4}\text{Al}_{0.6}$) $_{0.5}$, P層の一層のみ。

【0065】

【発明の効果】上記構成において、請求項1、5又は8記載の発明は、発光層である活性層を挟むクラッド層を多層化し、活性層に近い層の Al 混晶比を低くし、活性層に遠い層の Al 混晶比を高くするようにしているので、活性層界面での結晶性が向上し、かつキャリア閉じ込め効果が充分に発揮されるので、高輝度でかつ長寿命を達成することができる。

【0066】請求項11記載の発明は、発光層となる活性層に対して Al 混晶比が大きく異なる p 型、 n 型の両クラッド層を直接、隣接されるのではなく、活性層と p 型及び n 型クラッド層間に中間層を設けるようにしたので、活性層界面での結晶性が向上し、高輝度でかつ長寿

13

命を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】請求項 1～3 記載の発明の一実施例に係る半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【図 2】請求項 5 記載の発明の一実施例に係る半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【図 3】請求項 8 記載の発明の一実施例に係る半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【図 4】請求項 4 記載の発明の一実施例に係る半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【図 5】請求項 11～14 記載の発明の一実施例に係る半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【図 6】図 5 に示す素子の一製造工程を示す工程断面図である。

【図 7】図 5 に示す実施例の素子と図 11 に示す従来の素子との光出力の比較を示す図である。

【図 8】図 5 に示す素子の通電寿命特性を示す図である。

【図 9】従来の半導体発光素子の構造を示す断面図である。

【図 10】図 9 に示す素子におけるクラッド層の Al 混晶比と初期輝度及び初期輝度残存率との関係を示す図である。

【図 11】従来の半導体発光素子の他の構造を示す断面図である。

【図 12】図 11 に示す素子の通電寿命特性を示す図である。

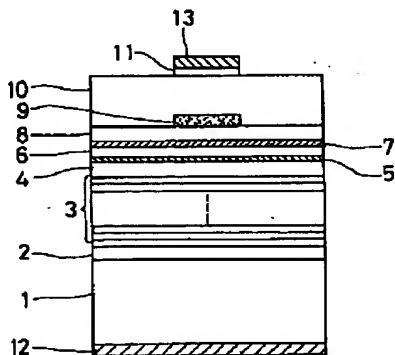
【符号の説明】

- 1, 41 n-GaAs 基板
- 2, 42 n-GaAs バッファ層
- 3, 43 n-InAlP/GaAs 光反射層

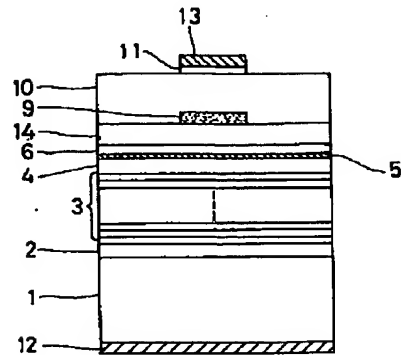
14

- * 4 n-InGaAlP 第 2 クラッド層
- 5 n-InGaAlP 第 1 クラッド層
- 6 アンダーブー-InGaAlP 活性層
- 7 p-InGaAlP 第 1 クラッド層
- 8 p-InGaAlP 第 2 クラッド層
- 9 n-GaAs ブロック層
- 10 n-GaAlAs 電流拡散層
- 11 p-GaAs コンタクト層
- 12, 31, 59 n 側電極
- 10 13, 30, 58 p 側電極
- 21 サファイア基板
- 22 GaN バッファ層、
- 23 n-GaN 層
- 24 n-AlGaIn 第 2 クラッド層
- 25 n-AlGaIn 第 1 クラッド層
- 26 InGaN 活性層
- 27 p-AlGaIn 第 1 クラッド層
- 28 p-AlGaIn 第 2 クラッド層
- 29 p-GaN 層
- 20 44 n-InGaAlP クラッド層
- 45 n-InGaAlP 層
- 46 n-InGaAlP アクティブ層
- 47 p-InGaAlP 層
- 48 p-InAlP クラッド層
- 49 n-InGaP コンタクト層
- 50, 56 p-GaAs コンタクト層
- 51, 53 n-InGaAlP 電流ブロック層
- 52 n-GaAs ブロック保護層
- 54 p-GaAlAs 電流拡散層
- 30 55 p-InGaAlP 耐湿性層
- * 57 n-InGaAlP キャップ層

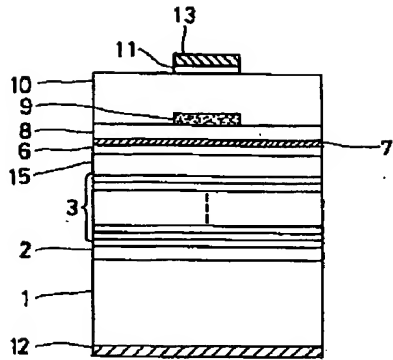
【図 1】



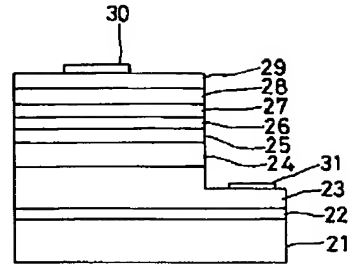
【図 2】



【図3】

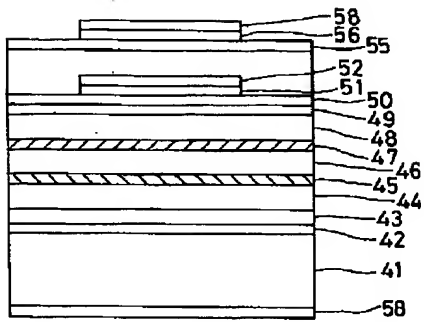


【図4】

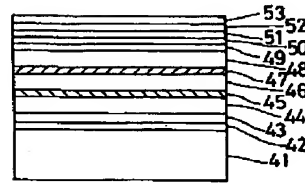


【図6】

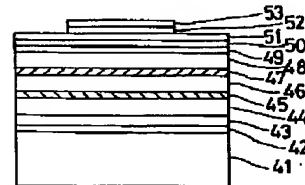
【図5】



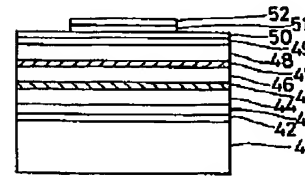
(a)



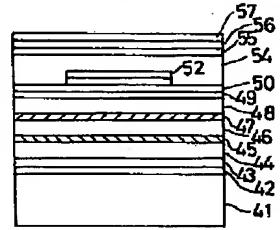
(b)



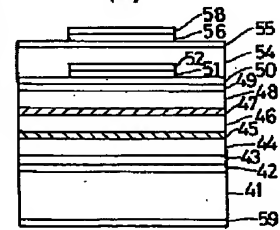
(c)



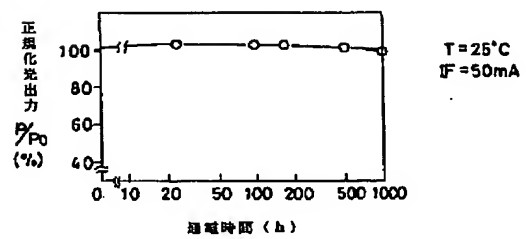
(d)



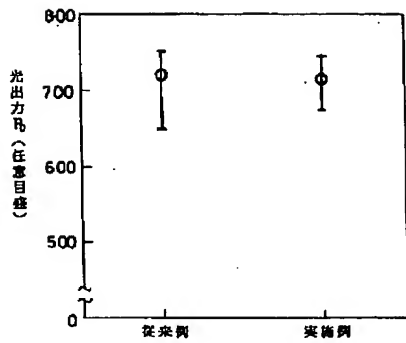
(e)



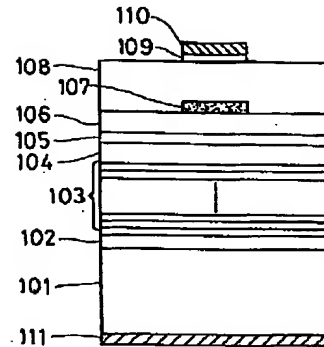
【図8】



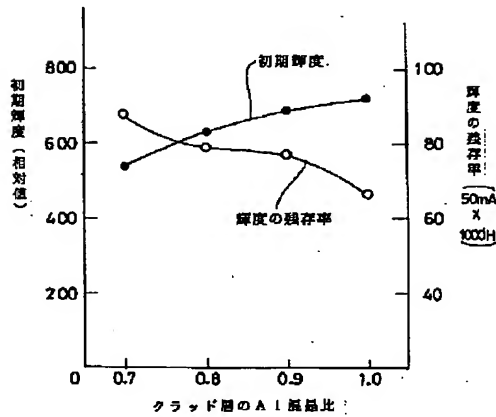
【図7】



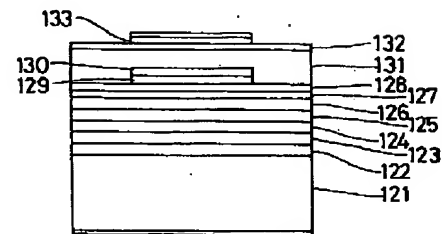
【図9】



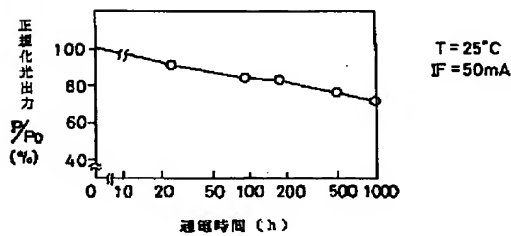
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 佐伯 亮
神奈川県川崎市幸区堀川町72番地 株式会
社東芝堀川町工場内

(72)発明者 中村 隆文
福岡県北九州市小倉北区下到津1-10-1
株式会社東芝北九州工場内

(72)発明者 岩本 昌伸
福岡県北九州市小倉北区下道津 1 - 10 - 1
株式会社東芝北九州工場内